

Aleksi Anttila

Etäohjelmoinnin käyttöönotto robottihitsaussolussa

Seinäjoen ammattikorkeakoulun konelaboratorio

Opinnäytetyö

Kevät 2020

SeAMK Tekniikka

Konetekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Aleksi Anttila

Työn nimi: Etäohjelmoinnin käyttöönotto robottihitsaussolussa

Ohjaaja: Kimmo Kitinoja

Vuosi: 2020 Sivumäärä: 37 Liitteiden lukumäärä: -

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada Seinäjoen ammattikorkeakoulun konelaboratorion hitsausrobottisolu etäohjelmoitavaksi. Etäohjelmointi edellytti robottisolun mallinnusta ja kalibroimista Visual Components -ohjelmistoon, jolloin simulointimallista saatiin etäohjelmoinnin käyttöönotto Delfoi ARC -ohjelmistoon. Kalibroinnin ja etäohjelmoinnin kohteena oli SeAMKin konelaboratorion Fanuc-hitsausrobotti.

Hitsausrobotiikan käyttöönotto edellyttää robottihitsausvaatimusten huomioimisen jo kappaleiden suunnitteluvaiheessa hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi. Erinomaiseen robotisoituun hitsaukseen vaikuttavat hitsin luoksepäästävyys ja siihen soveltuvat liitos- ja railonmuodot sekä mahdolliset hitsausmenetelmät. Robottien ohjelmointi on käytännössä niiden nivelien paikka-antureiden tietojen tallentamista ja tallennettujen tietojen toistamista uudelleen. Ohjelmoinnin tärkeimmät tehtävät ovat toimintajärjestyksen laatiminen ja ohjelmointi käsivarren liikkeille sekä liikkeiden tahdistaminen ympäristöön ja muihin laitteisiin. Robottien ohjelmointitavat voidaan jakaa online- ja offline-ohjelmointiin ja menetelmät edelleen eri tekniikoihin, joita ovat johdattamalla ja opettamalla ohjelmointi sekä etäohjelmointi. Etäohjelmointi on robottiohjelman suunnittelua ja tekoa erillisellä tietokoneohjelmistolla ilman robottia.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä etäohjelmoinnin kalibrointi robottihitsaussolulle ja voidaan todeta, että tavoite saavutettiin. Mallinnuksen ja kalibroinnin seurauksena, robotille voidaan nyt tehdä uusia ohjelmia offline-etäohjelmoinnilla. Mallinnettu solu soveltuu nyt myös entistä paremmin etäohjelmoinnin toimintaan hitsausoluna osana FMS-järjestelmää. Työssä käytetyllä ohjelmalla, Delfoi ARC:lla, hitsausprosessien ohjelmointi nopeuttaa ohjelmien tekoa huomattavasti. SeAMKin konelaboratoriossa on tämän opinnäytetyön ansiosta mahdollista käyttää Fanucin hitsausrobottisolua samalla tavalla kuin Yaskawa-solua ja vieläpä yhtä aikaa.

Avainsanat: ohjelmointi, robotiikka, simulointi, kalibrointi.

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author: Aleksi Anttila

Title of thesis: Enabling offline programming in a robot welding cell

Supervisor: Kimmo Kitinoja

Year: 2020

Number of pages: 37

Number of appendices: -

The aim of the thesis was to make a robot welding cell offline programmable in the mechanical laboratory of Seinäjoki University of Applied Sciences. Offline programming required robot cell modelling and calibration on Visual Components software. The object of calibration and offline programming was the Fanuc arm robot from SeAMK mechanical laboratory.

The introduction of welding robotics requires the robot welding requirements taken into account already at the design phase of the parts in order to achieve good results. The programming of robots is, in practice, recording the data from the position sensors of their joints and repeating the stored data. The most important tasks of programming are to draw up program operating procedures for arm movements and to synchronize the movements with the environment and other devices. Robot programming methods can be divided into online and offline programming which are the teach-pendant programming, lead-through programming and computer terminal programming.

The goal was to calibrate the offline programming for the robot welding cell. It can be stated that the goal was achieved. As a result of modelling and calibration, new programs could be made for the robot without the mandatory presence of the robot. The modelled cell was also better suited for offline programming operations as part of the FMS system. With Delfoi ARC, the programming of welding processes speeded up the execution of programs at a considerable level.

Keywords: programming, robotics, simulation, calibrating.

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet	6
1 JOHDANTO.....	7
1.1 Työn tausta ja tavoitteet	7
1.2 Työn rajaus ja rakenne.....	7
1.3 Toimeksiantajan esittely	8
2 ROBOTTIHITSAUKSEN ETÄOHJELMOINTI	11
2.1 Nivelvarsirobotti.....	11
2.2 Hitsauksen teknologia	13
2.3 Robottihitsaus	14
2.4 MIG/MAG-hitsaus.....	17
2.4.1 Railonhaku	18
2.4.2 Railonseuranta.....	19
2.5 Robotin ohjelmointi.....	19
2.5.1 Johdattamalla ja opettamalla ohjelmointi (online)	21
2.5.2 Etäohjelmointi (offline).....	22
2.5.3 VR-ohjelmointi.....	23
2.6 Ohjelmoinnin sovelluksia.....	23
3 FANUC-ROBOTIN ETÄOHJELMOINTI SeAMKIN KONELABORATORIOSSA.....	25
3.1 Solun kalibrointi ja mallinnus	25
3.1.1 TCP-kalibrointi	26
3.1.2 Kääntöpöydän kalibrointi.....	28
3.2 Etäohjelmoinnin käyttöönotto	30
3.3 Etäohjelmoinnin hyödyt	32
4 YHTEENVETO.....	33
LÄHTEET.....	38

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo

Kuva 1. SeAMK Konelaboratorion 6-akselinen robotti eli manipulaattori.	13
Kuva 2. MIG/MAG-hitsauksen periaate.....	14
Kuva 3. SeAMKin konelaboratorion Yaskawa-hitsausyksikkö.....	15
Kuva 4. Yksinkertainen hitsauskiinnitin.	17
Kuva 5. Railonhaku.....	18
Kuva 6. Railonseuranta.....	19
Kuva 7. Fanucin robottiohjain eli pendantti.	22
Kuva 8. Robotin koordinaatio- ja työkalutietoja.	25
Kuva 9. MB-piikki käsittelypöydässä sekä hitsauspolttimen vastinpiikki.	26
Kuva 10. Ohjelmistoon ladatut pisteet ja uusi Tool-koordinaatisto.	27
Kuva 11. Työkalun kalibroidut pisteet.	27
Kuva 12. Pöydän Step-malli muokattuna osiin.....	28
Kuva 13. TILT-mittauksen ääriasennot ja mittauspisteet sekä MB pöydän ulkokehällä.	29
Kuva 14. Valmis solu.	29
Kuva 15. Työstettävä testikappale.	30
Kuva 16. Suunnitellut hitsaukset ja railonhaut.....	31
Kuva 17. Valmis työstetty kappale.	32
Kuvio 1. Ohjelmoinnin sekamenetelmät.....	20

Käytetyt termit ja lyhenteet

Digital Factory	SeAMK:n digitaalisen valmistuksen ja teollisen valmistuksen oppimisympäristö ja työkalu.
FMS-järjestelmä	Flexible Manufacturing System. Valmistusjärjestelmä, jossa on useampia automaattiohjattuja työstökoneita.
Kalibrointi	Menetelmä, jonka avulla laite voidaan virittää näyttämään oikeaa, mittanormaanin lukemaa.
Luisti	Mekanismi, joka mahdollistaa robotin liikkeitä, vrt. nivel.
MB	Magnetic Base eli magneettinen vastinpiikki.
MAG	Metal Active Gas. Kaasukaarihitsaus.
Manipulaattori	Robotin käsivarsi, käsittelylaite.
MIG	Metal Inert Gas. Kaasukaarihitsaus.
Online -ohjelmointi	Ohjelmointimenetelmä, joka edellyttää läsnäoloa robotilla.
OLP	Etäohjelmointi eli offline-ohjelmointi, robotin ohjelmointia järjestelmän ulkopuolisessa tietokoneessa.
Pendantti	Robotin ohjauspaneeli.
TCP	Työkalupiste.
Teollisuusrobotti	Tietokoneohjattu työvälineitä tai -kappaleita käsittelevä kone.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Seinäjoen ammattikorkeakoulun konelaboratorio. Siellä olevalle Fanucin robottihitsaussolulle oli tarve tehdä mallinnus ja kalibrointi Visual Components -ohjelmistoon ja toimiva sovelluksen käyttöönotto etäohjelmoinnille. Konelaboratoriossa on myös Yaskawan nivelvarsirobotti, jolle kyseinen etäohjelmoitavuus on jo otettu käyttöön 2019. Visual Components on osa tekniikan yksikön insinööriopiskelijoiden opetusta. Ohjelman avulla opiskelijat voivat harjoitella, testata ja ohjelmoida sovelluksia, mikä mahdollistaa teorian soveltamisen käytäntöön ja siten parantaa työelämävalmiuksia.

Työn tavoitteena on saada Seinäjoen ammattikorkeakoulun konelaboratorion hitsausrobottisolu etäohjelmoitavaksi ja siten hyödyntää olemassa olevia resursseja entistä paremmin ja tehokkaammin. Robottisolu mallinnetaan ja kalibroidaan Visual Components -ohjelmistoon, jolloin simulointimallista saadaan etäohjelmoinnin käyttöönotto Delfoi ARC -ohjelmistoon. Tässä työssä perehdytään tarkemmin kuusiakseliseen nivelvarsirobottiin, koska kalibroinnin ja etäohjelmoinnin kohteena oleva robotti (Kuva 1) edustaa nimenomaan tätä robottimallia.

1.2 Työn rajausta ja rakenne

Opinnäytetyössä käsiteltävä ja ohjelmoitava Fanuc R-2000iB/165F-robotti on osa konelaboratoriossa sijaitsevaa Fastems-solua, johon on liitetty hyllystöhissi, koneistuskeskus, särmäyspuristin, kaksi robottia ja pyörityspöytä. Työ rajataan niin, että ohjelmoitavaan Visual Components -soluun mallinnetaan kyseinen Fanucin robotti ja pyörityspöytä. Työn tarkoituksen ja toimeksiantajan esittelyn jälkeen luvussa kaksi perehdytään robottihitsauksen etäohjelmointiin, nivelvarsirobottiin, hitsauksen teknologiaan ja robottihitsaukseen. Lisäksi luvussa käsitellään robotin ohjelmointia ja siinä käytettäviä ohjelmistoja. Luvussa kolme kerrotaan etäohjelmoinnin toteutuksesta SeAMK:n konelaboratoriossa vaiheittain. Työn etenemistä on havainnollistettu kuvia hyödyntäen kalibroinnin ja mallinnuksen edetessä. Lisäksi

kappaleessa kerrotaan, mitä hyötyjä etäohjelmoinnin avulla saavutettiin. Työn loppuun on koottu yhteenveto opinnäytetyön keskeisimmästä teoriasta liittyen robotin etäohjelmoinnin toteuttamiseen. Lisäksi luvussa neljä on kerrottu tiivistetysti työn kulku, tulokset sekä kehitysehdotukset etäohjelmoinnin käyttöönoton laajentamiseksi SeAMKin konelaboratoriossa.

1.3 Toimeksiantajan esittely

Seinäjoen ammattikorkeakoulun visiona on olla paras korkeakoulu opiskelijalle. Ammattikorkeakoulutuksen tavoitteena Seinäjoella on hyvinvoinnin, osaamisen ja kilpailukyvyn kasvattaminen. SeAMK:n arvot pohjautuvat yrittäjyyteen, kansainvälisyyteen, SeAMK-henkeen ja vastuullisuuteen. Korkeakoulu on profiloitunut ruokaan ja yrittäjyyteen ja nämä painoalat ovat yhtenevät niin maakuntastrategian kuin Etelä-Pohjanmaan korkeakoulustrategiainkin kanssa. SeAMK on suunnannut sekä TKI- ja opetustoimintansa että verkostonsa painoalojensa mukaan. Vahvuudet näiden painalojen sisällä ovat digitaalinen valmistus, teollinen internet, hyvinvointiteknologia, omistajanvaihdokset sekä kasvuyrittäjyys. Toimintaa Etelä-Pohjanmaan kunnissa ja lähialueilla koordinoidaan SeAMKin Maakuntakorkeakoulu-konseptilla. (SeAMK a [viitattu 5.5.2020].)

SeAMK:ssa on mahdollista suorittaa yli 30 eri ammattikorkeakoulu- sekä ylempää AMK-tutkintoa. Koulutusta on lisäksi avoimen ammattikorkeakouluopetuksen puolella, ja tarjolla on myös erilaisia täydennys- ja erikoistumiskoulutuksia. SeAMK:n Tutkimus- kehittämis- ja innovointitoiminta on valtaosin aluetta palvelevaa soveltavaa tutkimusta. Etelä-Pohjanmaan eri organisaatiot ja yritykset ovat SeAMK:n keskeiset TKI-toiminnan kumppanit. Työelämälähtöisyys onkin merkittävä ammattikorkeakoulun toimintaa ohjaava elementti. Seinäjoen ammattikorkeakoulun toimintaa arvioidaan säännöllisesti niin ulkoisten kuin sisäisten auditointien ja arviointien kautta. Nämä tekevät pohjan kehittämiselle sekä henkilökunnan, opiskelijoiden ja sidosryhmien eteen tehtävän työn edistämiseksi. SeAMK:in korkeasta osaamisesta ja laadusta yksi esimerkki on sen suuri vuosittainen julkaisujen määrä. (SeAMK b [viitattu 5.5.2020]). Valmistumisvaiheen opiskelijapalautteen mukaan SeAMK sijoit-

tuu keskiarvolla mitattuna jaetulle ykköstilalle korkeakoulujen keskinäisessä vertailussa (Vipunen 2019). Kitinoja (2020) korostaa erityisesti työelämälähtöisen opetuksen merkitystä konetekniikassa sekä automaatiotekniikan ja rakennustekniikan opetuksessa. Tällä hän tarkoittaa, että esimerkiksi konetekniikassa SeAMK:ssa on ehkä jopa Suomen parasta työelämälähtöistä ammattikorkeakouluopetusta. Se on seurausta pakollisista projektiopinnoista, joita opiskelijat suorittavat. Hän jatkaa, että konetekniikassa tehdään useilla opiskelutavoilla alueen konepajayritysten kanssa monipuolisia tuotekehitykseen ja tuotannon kehittämiseen liittyviä projekteja.

SeAMK Tekniikalla on pitkät perinteet digitaalisten ratkaisujen toteuttamisessa teollisuuden tarpeisiin. Yksikkö on toteuttanut yli 20 vuoden aikana kymmeniä digiratkaisuja aina valtakunnan tasolla saakka. SeAMK Digital Factory on valmistavalle teollisuudelle suunnattu konsepti, jonka tarkoituksena on digitaalisuuden valmistuksen ja teollisen internetin jalkauttaminen kohderyhmälle. Tuottavuuden lisääminen valmistavassa teollisuudessa on digitaalisen valmistuksen TKI-ryhmän ensisijainen tavoite. Tuottavuuden parantaminen ja elinkaaren hallinta perustuvat tuote- ja valmistussuunnittelun, analysoinnin, konseptoinnin, testauksen ja tuotannon simuloinnin digitalisointiin. Konseptia toteutetaan yhteistyössä yritysten, yliopistojen ja ammattikorkeakoulujen kanssa, mikä tuo etuja kaikille osapuolille. (SeAMK b [viitattu 5.5.2020].)

Yritysten tuotantojärjestelmien parempi ennustettavuus ja ohjattavuus sekä näiden mahdollistama uuden liiketoiminnan syntyminen on teollisen internetin TKI-ryhmän tavoite. Uuden liiketoiminnan synnyttäminen perustuu tuotannosta pilvipalveluun kerättävän datan analysointiin, joka visualisoidaan käyttäjää paremmin palvelemaan visuaaliseen kokemukseen. Analysointi mahdollistaa koneiden paremman seurannan ja ohjattavuuden, mikä johtaa perinteisen laitemyyntiin palvelullistamiseen. SeAMK Digital Factoryn muodostavat teollisen internetin laboratorio ja digitaalisen valmistuksen oppimisympäristö. Tämä toimii sekä yritysten osaamiskeskuksena että insinööriopiskelijoiden oppimisympäristönä. Ympäristössä on tuotteen ja tuotetiedon elinkaarenhallinnan ohjelmistot, toiminnan- ja tuoteohjauksen ohjelmat pilvipalveluineen sekä automaattinen tuotantojärjestelmä. Tämä kokonaisuus on paljattu useita kertoja valtakunnallisesti eri yhteyksissä. EU:n Regional Manufacturing

Digital Innovation Hub -status ja sen mukanaan tuoma kansainvälinen verkosto luovat pohjan teollisen internetin ja digitaalisen valmistuksen ekosysteemin luomiselle Etelä-Pohjanmaalle. (SeAMK b [viitattu 5.5.2020].)

2 ROBOTTIHITSAUKSEN ETÄOHJELMOINTI

Nykypäivän robotti on uudelleen ohjelmoitavissa oleva monipuolinen ja vähintään kolminivelinen mekaaninen laite, joka on suunniteltu liikuttamaan kappaleita, osia, työkaluja ja erikoislaitteita ohjelmoitavin liikkein sekä erilaisten tehtävien suorittamisen teollisuuden sovelluksissa. Ohjelmointi koostuu käytännössä toimintajärjestyksen ja logiikan laatimisesta robotille niin, että robotin työkalun liikkeet saadaan optimaalisiksi. (Kuivanen 1999, 13.)

Robotin uudelleen ohjelmoitavuus on olennainen osa sen toimintaperiaatetta. Nykyaikaisissa robottisovelluksissa pelkkä uudelleenohjelmoitavuus ei yksinomaan riitä. Robotille tulee olla mahdollista muodostaa vaaditut liikeradat, joita voidaan päivittää prosessia tarkkailevien antureiden ja tunnistimien avulla. Yksiselitteisesti teollisuusrobotti on mekaaninen kone, joka siirtää työkalun kiinnityslaippansa halutulla tavalla paikasta toiseen. Robotin liikerata voi olla kokonaan ennalta määritelty, eri tapahtumien ja toimintaympäristön mukaan valittava tai antureiden perusteella liikkeiden aikana ohjelmoitu. Robotin runko koostuu jalustasta ja työkalusta, joiden välillä on nivelillä toisiinsa liittyviä tukivarsia. Tukivarsien välisiä niveliä liikuttavat ohjatut servomoottorit. 1960-luvulla pyrittiin yhdellä robottityypillä teettämään paljon erilaisia tehtäviä, mutta eriytyminen erikoisrobotteihin on kehittynyt valtavasti teknologian mukana. Kuitenkin muutamat robottimallit ovat vakiintuneet teollisuuteen enemmän, ja niitä valmistetaan vuodessa tuhansittain. (Kuivanen 1999, 13.)

2.1 Nivelvarsirobotti

Teollisuusrobottityypeistä yleisimmin käytetty on nivelvarsirobotti (Kuva 1), joka koostuu tukivarsista. Näistä tukivarsista kaksi liikkuu tietyn suoran suunnassa tai suoran ympäri toisiinsa nähden. Tätä käsitteellistä akselia kutsutaan usein niveleksi. Yhtä robotin perusliikettä eli niveltä kutsutaan vapausasteeksi. Yleensä teollisuusrobotti on neljästä kuuteen nivelinen, jonka vapausasteet ovat kiertyviä. Näiden nivelten avulla kyseiset tukivarret muuttavat keskinäisiä asentoja ja asemiaan. Näin

robotti saa työkalunsa mihin tahansa asentoon ja paikkaan työalueella. Toimilaitteet, esimerkiksi moottori tai sylinteri, ohjaavat vapausasteita. (Kuivanen 1999, 15–16.)

Manipulaattori on yksi nivelvarsirobotin kolmesta komponentista. Kaksi muuta komponenttia ovat kontrolleri ja virtalähde. Manipulaattori on luokiteltu sen käsivarsi- maisten liikkeiden mukaan. Jokaisella teollisuusrobotilla on jonkinlainen käsivarsi. Se voi olla nimenomaan nivel- tai luistityyppinen. Manipulaattori on siis yhdistelmä olkapäästä, käsivarresta, ranteesta ja kädestä. Tarttuja sijaitsee kädessä. Tämä yhdistelmä mahdollistaa robotin kurkottamisen kappaleeseen, nostamisen ja kantamisen sekä kappaleen siirtämisen haluttuun paikkaan. Tämän robottityypin kantokyky on varsin pieni, mutta sen ulottuvuus on suuri pallomaisen työalueen takia. Nivelvarsirobotti voi olla paikalleen tai telakalle asetettu. (Miller 2017, 24–29.) Kuvassa (Kuva 1) on SeAMK konelaboratorion 6-akselinen robotti, mikä on Kuivasen (1999, 13) mukaan autoteollisuudessa ja konepajoissa yleisimmin käytetty robottityyppi.

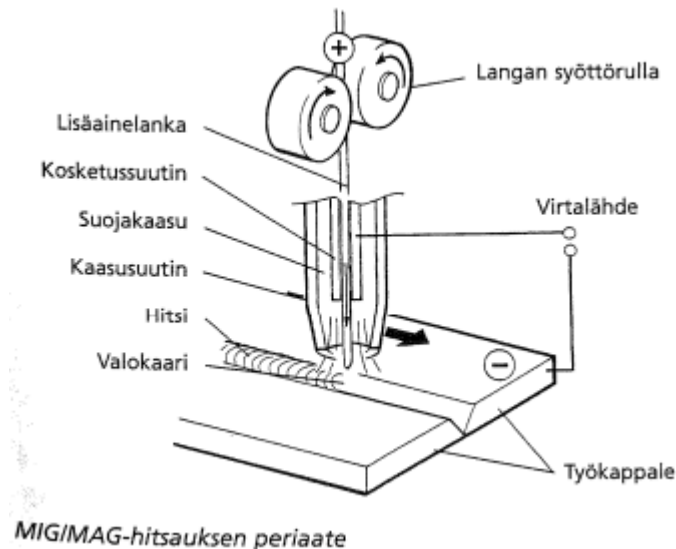


Kuva 1. SeAMK Konelaboratorion 6-akselinen robotti eli manipulaattori.

2.2 Hitsauksen teknologia

Hitsauksella tarkoitetaan eri kappaleiden liittämistä toisiinsa siten, että lämpö ja/tai puristus sulattaa metallia, jolloin osat muodostavat yhtenäisen kappaleen. Sähköllä toimivan hitsausvirtalähteen tuottama valokaari toimii lämmönlähteenä. Valokaareen perustuvaa hitsausmenetelmää kutsutaan kaarihitsaukseksi. Kappaleiden yhteen liittäminen voi tapahtua pelkällä valokaaren tuottamalla lämmöllä niin, että osat sulavat toisiinsa. Kyseinen menetelmä on käytössä esimerkiksi TIG-hitsauksessa. Yleensä hitsaussaumassa on mukana lisäainetta, jota lisätään langansyöttölaitteella hitsauspistoolin läpi (MIG/MAG-hitsaus) tai hitsaaja syöttää lisäainetta käsin.

Yleensä ennen hitsausta työstettävien kappaleiden reunat käsitellään sopivan muotoiseksi hitsausrailoksi, esimerkiksi V-railoiksi. Kun hitsaus etenee, se sulattaa railon reunat ja lisääineen toisiinsa muodostaen ns. hitsisulan. Kuvassa 2 havainnollistetaan MIG/MAG-hitsauksen periaate. (Lepola & Makkonen 2005, 11.)



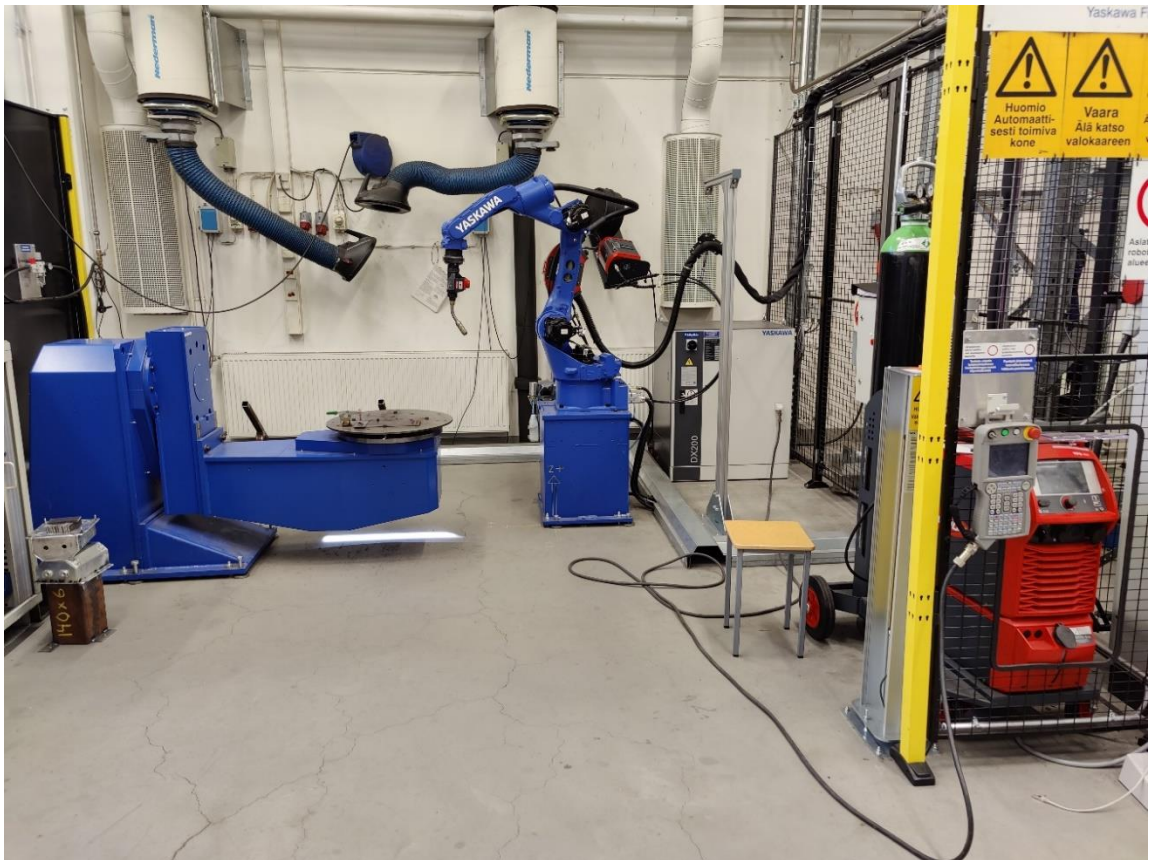
Kuva 2. MIG/MAG-hitsauksen periaate (Lepola & Makkonen 2005).

On yleisesti tiedostettu, että automaation käytön lisääminen tulee olla työn tuottavuuden ja työvoimapulan kanssa kamppailevan hitsausalan yksi merkittävimmistä kehityksen painopistealueista nyt ja lähitulevaisuudessa. Yleisin automatisointikeino on hankkia robotti kuljettamaan hitsauspistoolia. Tällöin robottikäsivarsi hoitaa fyysisesti kuormittavan hitsaustyön, mutta ihmiskäsiä tarvitaan ohjelmoinnin lisäksi mm. tuotteiden kokoonpanoon, toteaa Jääskeläinen (2011) tekstissään.

2.3 Robottihitsaus

Yksi suurimmista käyttötarkoituksista robotille on hitsaus. Yhä useammat yritykset käyttävät teollisuudessaan robottia piste-, puikko-, MIG/MAG- tai TIG-hitsaukseen. Pistehitsaus on yleisimmin käytettävä tapa sen helppouden ja suuren kysynnän takia. Esimerkiksi, kun prosessi alkaa henkilöautolle, pistehitsausta käytetään pitämään metallikappaleet toisissaan kiinni. Tällä tavalla tehdään henkilöauton kehikko. Yleisin käytössä oleva hitsausmenetelmä on MIG/MAG-hitsaus. Hitsausasema sisältää lisälangansyöttölaitteiston, hitsauspolttimen, kaasusäätimen ja virtalähteen.

Esimerkkinä toimii kuvassa (kuva 3) SeAMKin konelaboratorion Yaskawa-hitsausyksikkö, joka on varustettu huippumodernilla Froniuksen MIG/MAG-virtalähteellä ja langansyöttöjärjestelmällä (Kitinoja 2020). Robottihitsaus mahdollistaa jatkuvan sauman hitsauksen ilman monia aloituksia ja lopetuksia. Lisäämällä kaasua metallia voidaan suojata hapelta silloin, kun hitsaus tapahtuu metallin ollessa sulaa ja ilman kanssa reagoivaa, eli hapettuvaa. Yksi robottihitsauksen suurimmista ongelmista on yhteen liitettävien kappaleiden sattumanvaraiset epäkohdat, joten hitsattavien urien on oltava tarkasti aseteltu. (Miller 2017, 163–164.)



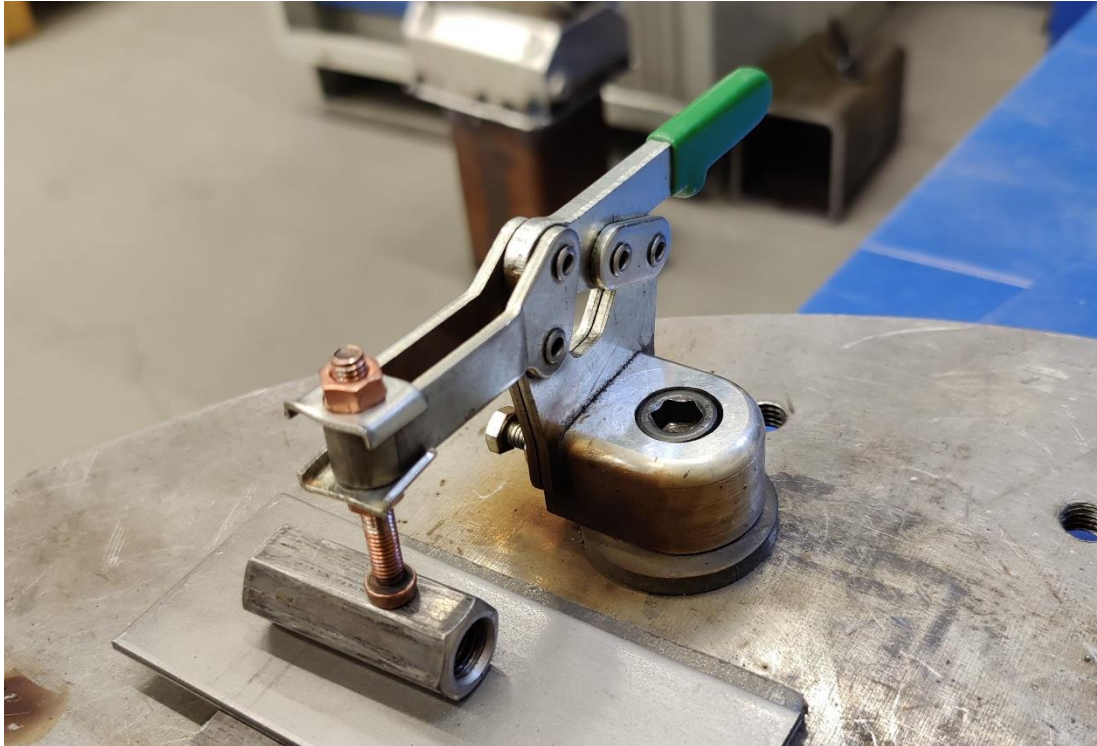
Kuva 3. SeAMKin konelaboratorion Yaskawa-hitsausyksikkö.

MIG/MAG-hitsauksessa voidaan virtaa eli ampeerimäärää säädellä (Lepola & Mäkinen 2005). Tämä tapahtuu langansyötön säätämisellä ja näin voidaan määrittää, kuinka nopeasti lisäainetta halutaan liitokseen. Froniuksen (2020) mukaan nykyaikaisissa virtalähteissä käytetään myös automaattista virrankuristusta sekä jännitteen säätymistä, joilla prosessia voidaan hallita ja säätää tarkasti. Perinteisessä MIG/MAG-hitsauksessa on vakiojännite ja virtaa säädetään langansyöttöä säätämällä.

Verkostoituminen, automatisointi ja digitalisointi ovat muuttaneet perusteellisesti teollisuustuotantoa ja hitsaustekniikka ei eroa tästä. Hitsauksesta saatavan tiedon tallennus ja prosessointi auttaa nykypäivänä analysoimaan hitsauksessa tapahtuvaa kulutusta ja hukkaenergiaa, mikä antaa merkittävän edistyksen tuotannon laadunvarmistukseen. Hitsausjärjestelmät keräävät tietoa virrasta, jännitteestä, langansyötöstä ja hitsausnopeudesta. Näiden tietojen dokumentointi ja datan analyysi antavat käyttäjille mahdollisuuden optimoida tuotantoprosesseja, havaita ja estää virheitä nopeasti sekä vähentää mitattavissa olevia kustannuksia. (Fronius 2020.)

Robottihitsausta verrattaessa käsin hitsaukseen kappaleiden mitta- ja muotovaatimukset ovat huomattavasti suuremmat. Kappaleiden suunnitteluvaiheessa voidaan vaikuttaa sen hitsattavuuteen, kun otetaan huomioon robottihitsauksen vaatimukset. Erinomaiseen robotisoituun hitsaukseen vaikuttavat hitsin luoksepäästävyys, hitsauspisteeseen soveltuvat liitos- ja railonmuodot sekä hitsausmenetelmät. (Hiltunen & Purhonen 2008, 34.)

Robotilla työstettävä kappale vaatii usein kappaleelle suunnitellun kiinnittimen, jonka avulla pidetään kappale paikoillaan käsittelylaitteessa. Kiinnittimen tarkoituksena on minimoida hitsauksen aikana tapahtuvat muodonmuutokset kappaleessa, jolloin kappale täyttää sille asetetut mitta- ja muotovaatimukset. Kiinnitin mahdollistaa robotille hyvän hitsausasennon. Robottihitsauksessa on tärkeää kappaleen asemoituminen samaan paikkaan ja orientaatioon jokaisella hitsauskerralla. Myös kappaleen irrotus hitsauskiinnittimestä on oltava turvallinen ja hallittu menetelmä. (Leppola & Makkonen 2005.) Seuraavassa sivulla esitetään kuvalla (Kuva 4) yksinkertainen kiinnitin.



Kuva 4. Yksinkertainen hitsauskiinnitin.

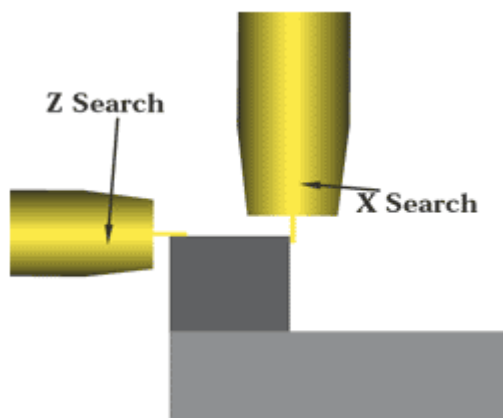
2.4 MIG/MAG-hitsaus

MIG/MAG-hitsaus on puoliautomaattinen hitsausmenetelmä liittää kappaleita toisiinsa. Tässä menetelmässä lisäainetta syötetään automaattisesti ja vakionopeudella suojakaasulla suojattuun hitsauskohtaan. Tällöin lisäainelangan kärjen ja työskäveltävän kappaleen pinnan välissä palava valokaari sulattaa lisäaineen ja metallin yhteen. Edellä kerrottu menetelmä on havainnollistettu kuvassa 2. MIG/MAG-hitsauksen etuna on muun muassa sen hyvä tuottavuus. Puoliautomaattinen hitsaus mahdollistaa lisäaineen katkeamattoman syöttämisen, jolloin hitsauksessa ei esiinny katkoja myöskään lisäaineen vaihtojen takia. Tunkeuma on säädettävissä virran avulla ja hitsiä on helppo käyttää kaikissa asennoissa. Kuitenkin langansyöttö-, kaasu- ja virtajohtimen ulottuvuus voi olla joskus rajoittava tekijä menetelmän käytössä. Haittana voidaan pitää myös sen arkuutta vedolle ja tuulelle, jolloin se ei välttämättä sovi asennustyömaaolosuhteisiin. Laitteisto vaatii myös huomattavasti enemmän huoltoa verrattaessa esimerkiksi puikkohitsaukseen. (Lepola & Makkonen 2005.)

Suojakaasujen tärkein tehtävä hitsausprosessin aikana on suojella hitsisulaa. Sen toinen tehtävä on jäähdyttää hitsauspoltinta. Hitsauskaasun tyypillä on myös vaikutusta hitsausprosessin aikana syntyvään otsonin määrään. Kaasulla on myös suuri merkitys hitsin tunkeumaan, hitsausnopeuteen ja valokaaren käyttäytymiseen. Jos hitsausprosessin aikana käytettävä kaasu on inerttiä eli suojakaasu ei reagoi hitsisulan kanssa, prosessia kutsutaan silloin MIG-hitsaukseksi (Metal-arc Inert Gas Welding). Vastaavasti hitsisulan kanssa reagoivaa kaasua kutsutaan MAG-hitsaukseksi (Metal-arc Active Gas Welding). (Lepola & Makkonen 2005.) Tämä aktiivinen suojakaasu on yleensä argonin ja hiilidioksidin, argonin ja hapen, näiden kolmen yhteinen seos tai puhdas hiilidioksidi. Inertti suojakaasu on yleensä argon, helium tai näiden kahden kaasuseos. (AGA [viitattu 8.6.2020].)

2.4.1 Railonhaku

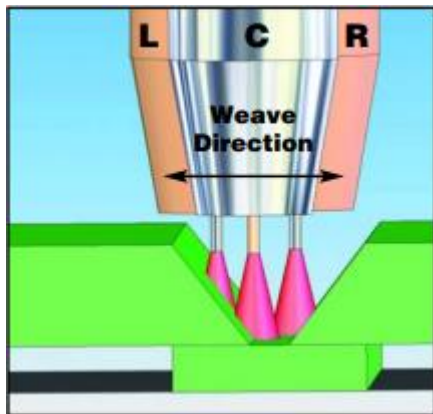
Railonhakutoiminnon (Kuva 5) avulla hitsattavan kappaleen virheellistä muotoa tai asemaa voidaan korjata hitsauspisteiden uudelleen paikoituksella. Railonhaussa hitsauslangalla tai kaasusuuttimella kosketetaan kappaleen hitsattavia pintoja, joka perustuu sähköiseen kontaktiin. Robotti oppii näin koskettamalla hakupisteet radan aloitukselle. Mikäli railonhakumenetelmällä saadut arvot vaihtelevat opetetusta sijainnista, robotti siirtää liikeratojaan muuttuneen sijainnin mukaisesti. Kuvassa (Kuva 5) viitataan kappaleen kahden suunnan railonhakumetodiin. Robotti hakee referenssipisteet kappaleen seinämistä ja laskee näin uuden railon aloituspisteen. (Bolmsjö, Loureiro & Pires 2006, 108–109.)



Kuva 5. Railonhaku (Lincoln Electric 2020).

2.4.2 Railonseuranta

Railonseuranta (Kuva 6) korjaa robotin hitsausrataa hitsauksen aikana, jos kappale tai sen paikoitus eroaa ohjelmoidusta kappaleesta. Railonseuranta käyttää vaaputusta tunnistukseen hitsauksen aikana tapahtuvat kaarijännitteet ja virran muutokset. Vaaputuksen aikana langan etäisyys työstettävästä kappaleesta vaihtelee, jolloin railon keskikohta voidaan tunnistaa. Sitä käyttämällä saadaan myös parempi hitsin tunkeuma. Vaaputustarpeen takia railonseurantamenetelmä ei sovi ohuille kappaleille, mikäli hitsiin halutaan kapea sauma. (Bolmsjö, Loureiro & Pires 2006, 108–109.)



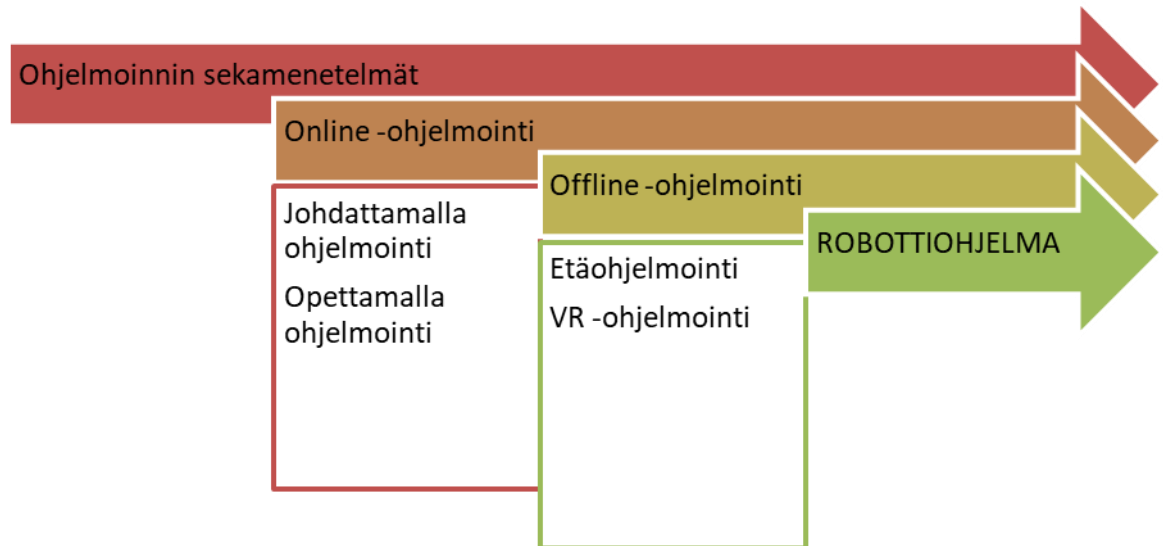
Kuva 6. Railonseuranta (Fanuc 2005).

2.5 Robotin ohjelmointi

Robottien ohjelmointi on käytännössä niiden nivelien paikka-antureiden tietojen tallentamista ja näiden tallennettujen tietojen toistamista uudelleen. Ohjelmoinnin tärkeimmät tehtävät ovat toimintajärjestyksen laatiminen ja ohjelmointi käsivarren liikkeille, liikkeiden tahdistaminen ympäristöön ja muihin laitteisiin sekä robotin toimien määrittäminen virhetilanteissa. (Kuivanen 1999, 78.)

Kaarelan (2007) mukaan robottien ohjelmointitavat voidaan jakaa suoraan online- ja offline-ohjelmointiin ja menetelmät edelleen eri tekniikoihin, joita ovat johdatta-

malla ja opettamalla ohjelmointi sekä etäohjelmointi. Hän jatkaa, että lisäksi on olemassa myös muita menetelmiä sekä niiden alalajeja, yhdistelmiä sekä muunnoksia. Kuviossa 1 on havainnollistettu ohjelmoinnin eri menetelmiä.



Kuvio 1. Ohjelmoinnin sekamenetelmät, mukaillen Kaarela (2007).

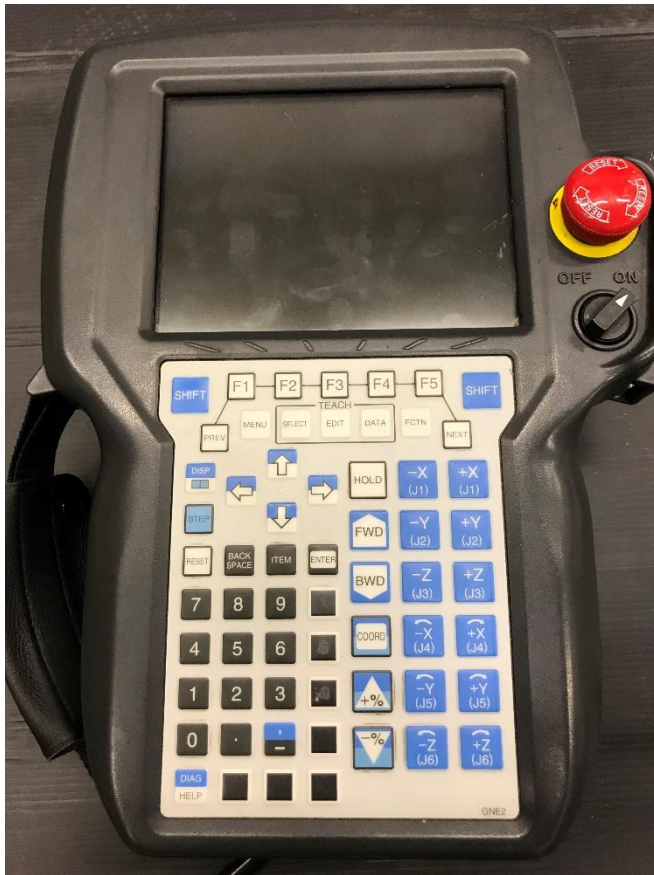
Robottihitsaussolut ja etäohjelmointi eli offline-ohjelmointi (OLP) on jatkuvassa kasvussa niin Suomessa kuin muuallakin maailmassa. Tuotantosarjojen pienentyessä ja tuotteiden elinkaaren ollessa lyhyt robottihitsaussolun etäohjelmointi on kannattavaa. Etäohjelmointi soveltuu käyttöön erityisesti silloin, kun tuotanto on asiakasohjautuvaa piensarjatuotantoa. (Delfoi [viitattu 28.5.2020].) Yleisin robotin ohjelmointitapa on opettamalla ohjelmointi. Opettamalla ohjelmoinnissa robottia ajetaan haluttuun paikkaan ja paikkatiedot tallennetaan ohjaimen muistiin. Tämä ohjelmointitapa on suhteellisen hidasta, eikä se välttämättä sovellu suuriin kapasiteettivaatimuksiin. (Miller 2017, 123.)

Kun robottien halutaan tekevän ja toistavan ohjelmiaan, niille täytyy opettaa tarvittavat pisteet ja komennot. Ne ovat helposti opetettavissa ja ohjelmoitavissa, kun niiden toimintaperiaate on ymmärretty. Robottien ohjelmoinnilla on mahdollista suorittaa monia teollisuuden sovelluksia. Yleisimmät ohjelmointitavat ovat johdattaminen, opettaminen, etäohjelmointi ja VR-ohjelmointi. (Miller 2017, 122–123.)

2.5.1 Johdattamalla ja opettamalla ohjelmointi (online)

Johdattamalla ohjelmointi on yleensä tehty roboteilla, jotka tekevät suuria toistomääriä samaa liikettä. Ne voidaan ohjelmoida seuraamaan ympyrää, kaarta tai suoraa linjaa. Tämän tyyppinen robotti ohjelmoidaan viemällä työkalu tehtävän liikerradan läpi lihasvoimia käyttäen. Robotti muistaa sille johdatetun polun ja toistaa sen pyydettyäessä. Tämän tyyppinen ohjelmointitapa on kätevä maalaamiseen tai hitsaukseen suunnitellulle robotille. (Miller 2017, 124–125.)

Opettamalla ohjelmointi tapahtuu pendantin (Kuva 7) eli käyttäjän käsittelemän ohjauspaneelin avulla. Tämä käyttöliittymästä tapahtuva online-ohjelmointi on myös suosituin tapa robotin ohjelmoimiseen, koska se vaatii erittäin vähän ohjelman editoimista. Haluttu paikka manipulaattorille saavutetaan opettamalla robotti haluttuun pisteeseen pendantin avulla. Tämä tapahtuu nappeja tai ohjainta painamalla, mikä liikuttaa robottia haluttuun paikkaan. Halutessa voidaan paikkatieto tallentaa ohjelmaan. Tämä paikkatietojen tallentaminen toistetaan halutulla tavalla, minkä jälkeen robotti muistaa tallennetut paikat ohjelmassa. Ohjelma testataan ennen kuin robotti laitetaan tuotantoon. Liikekomentojen nopeudet voidaan editoida myös ohjauspaneelin avulla. Tällä tavoin ohjelmoija voi varmistaa robotin liikkuvan tasaisesti ilman äkillisiä pysähdyksiä tai liikkeitä. Mikäli ohjelmoija havaitsee ongelmia tai häiriöitä ohjelmassa, sitä voidaan muokata tällä online-ohjelmoinnilla jälkeinpäin. (Miller 2017, 123–124.)



Kuva 7. Fanucin robottiohjain eli pendantti.

2.5.2 Etäohjelmointi (offline)

Etäohjelmointi eli offline-ohjelmointi (OLP) on robotin ohjelman suunnittelua ja tekoa erillisellä tietokoneohjelmistolla ilman itse robottia (Graig 1989, 414). Hän jatkaa, että etäohjelmointi on tärkeää paitsi ohjelmien suunnittelun kannalta myös robotiikan tutkimuksen näkökulmasta. Kuivasen (1999, 82–83) mukaan etäohjelmointi perustuu paikoituspisteiden opettamiseen, kuten online-ohjelmointikin. Kuivanen (mts. 82) jatkaa, että etäohjelmoinnin käyttö on järkevää muun muassa silloin, kun tuotteiden vaihtuvuus on suurta, tuotannon sarjakoot ovat pienet tai kun esimerkiksi hitsaus- tai leikkausprosessin robottiohjelmassa on suuri määrä paikoituspisteitä.

Craig (1989, 414–417) toteaa, että etäohjelmointi ei sido tuotannon laitteistoa ohjelmointiprosessiin eli tuotantoa ei tarvitse pysäyttää ohjelmoinnin ajaksi. Hän jatkaa, että sovellukset hyödyntävät maksimaalisesti CAD-mallien muototietoa ohjelmien suunnitteluvaiheessa, jolloin tuotteesta saadaan reaalinen komponentti sovellukseen. CAD-mallien käyttö säästää myös valtavasti aikaa ohjelmoitaessa. Craigin

(mp.) mukaan etäohjelmoinnin tulisi tulevaisuudessa palvella luonnollisena kasvu-alustana sovelluksille.

2.5.3 VR-ohjelmointi

VR-ohjelmointi on nopeasti kehittyvä teknologia-ala. Tämä systeemi helpottaa huomattavasti robottien ohjelmointia mahdollistamalla käyttäjän liittymisen virtuaalitoimellisuuteen ja 3D -mallien tarkastelun joka suunnalta. Ohjelmoija asetetaan parhaaseen mahdolliseen ympäristöön robotin ohjelmointia varten. Käsien käytettävillä ohjaimilla voidaan robottisolussa liikkua vapaasti, liikuttaa robotteja, vaihtaa työkaluja, lisätä merkintöjä ja tutkia robottia joka suunnalta. Käyttäjät voivat seurata robottia sen suorittamassa tehtyä ohjelmaa ja tehdä tarvittavia muokkauksia, mikäli ongelmatilanteita ilmenee. Ohjelman simulaation läheinen tarkastelu edesauttaa suuresti tuotantoprosessin parantelua. Se on myös onnistuneesti lisännyt tuottavuutta, turvallisuutta, tehokkuutta ja tehostanut yleisesti prosessia. (Robotic Industry News [Viitattu 30.5.2020].). Niemi (2020) kertoo, että ohjelmoitaessa virtuaalitoimellisuudessa tuotantoa ei tarvitse pysäyttää ohjelmoinnin ajaksi. Hän jatkaa, että perinteisesti ohjelmoitaessa ohjaimella, ohjelmointi kestää muutaman tunnin, joten ajansäästö ohjelmoitaessa on huomattava. Toisena etuna hän pitää materiaalisäästöä, koska VR-ohjelmoinnilla voidaan esimerkiksi optimoida maalin käyttö tarkasti hänen työpaikallaan. VR-ohjelmointi tulee Niemen mukaan olemaan myös pienten yritysten käytössä, sillä se ei vaadi suuria investointeja. Kuitenkin tuotanto tarvitsee isommat volyymit, jotta VR-ohjelmoinnista tuleva hyöty saadaan paremmin käyttöön. Koulutusta VR-ohjelmoijille tarjottiin kyseisessä yrityksessä viikon verran. Uuden tyyppinen teknologia ja ohjelmointitapa tuntui Niemen mukaan olevan kiinnostava menetelmä ohjelmoijien keskuudessa.

2.6 Ohjelmoinnin sovelluksia

Visual Components on Suomessa vuonna 1999 perustettu johtava 3D-simulointiohjelmiston kehittäjä, jonka tavoite on luoda helppo ja hauska sovellus kaikenko-

koisille tuotantoyrityksille. Tänä päivänä VC tunnistetaan johtavaksi yritykseksi simulointiteollisuuden parissa ja on luotettava kumppani monelle johtavalle teollisuuden yritykselle. VC tarjoaa sovelluksen tuotannon avainhenkilöille, järjestelmäintegraattoreille ja koneiden suunnittelijoille yksinkertaisena, nopeana työkaluna tuotantolinjojen mallintamiseen, simulointiin ja suunnitteluun. (Visual Components 2020.)

Delfoi ARC on Visual Componentsin sisällä toimiva lisäosa offline-ohjelmaohjelmisto. Ohjelma on nopea ja käyttäjäystävällinen etäohjelmointisovellus kaikille suurille robottibrändeille. Ohjelma suorittaa tarkat, häiriövapaat ja korkealaatuiset hitsausohjelmat robotin merkistä tai mallista riippumatta. Ohjelma hyödyntää 3D CAD-mallin geometriaa ja käyttää ohjelmiston omaa hitsausparametrien tietopankkia esimerkiksi hitsausjännitteet, hitsausnopeudet ja railonseuranta. Delfoin sovellusta käyttää jo n.150 yritystä. Delfoi ARC:n ominaisuuksia ovat muun muassa suorien ja ympyrähitsien nopea generointi, railonhakujen hallinta 1D-, 2D- ja 3D-muodossa sekä monipalko- ja kulmahitsien hallinta. Hitsausradat on mahdollista kopioida, monistaa ja peilata tarpeen mukaan ulkoisten akselien laskennalla. Hitsausratojen ja liikepisteiden manuaalinen hienosäätö on mahdollista ohjelmistolla. Monipuoliset kalibrointityökalut takaavat äärimmäisen tarkan ohjelmointituloksen mallinnetussa solussa. (Delfoi ARC 2020.)

MotoSim EG-VRC (Enhanced Graphics Virtual Robot Controller) on suunniteltu robotiikan monimutkaisten järjestelmien etäohjelmointiin. Virtuaalisella ohjaimella voidaan ohjelmoida robottia ja sen paikoitusta, tarkastella työkiertoa, automatisoida liikeratoja, editoida järjestelmää ja sen tiedostoja sekä ottaa etäyhteys oikean robotin ohjaimeen. Virtualisoitu ohjain mahdollistaa myös normaalin ohjauspaneelin käytön. (MotoSim 2020.)

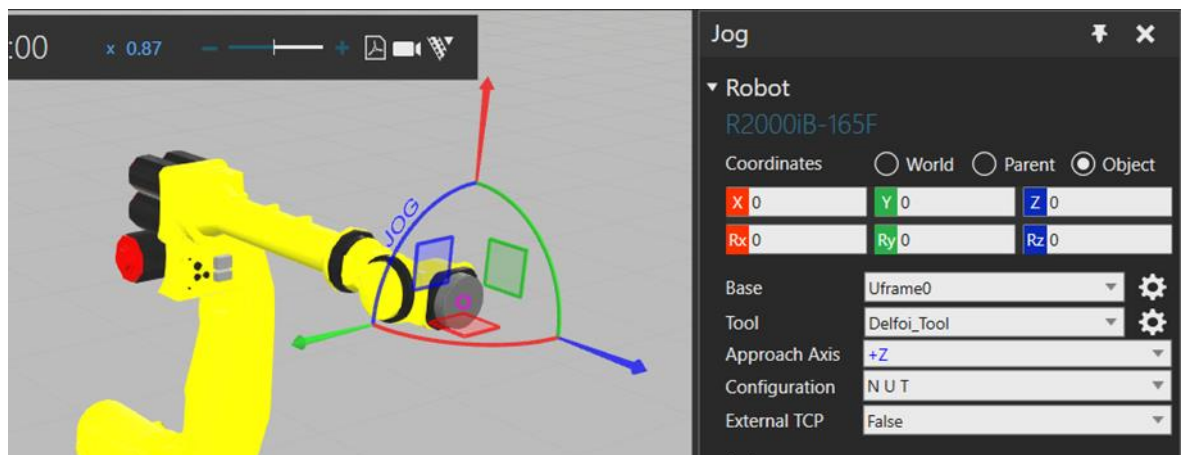
RoboDK perustettiin vuonna 2015 CoRo Laboratoryn sivuyrityksenä yliopistossa Montrealissa Kanadassa. CoRo Lab on varustettu monella teollisuusrobotilla ja se keskittää toimintansa soveltavaan tutkimukseen niiden parissa. RoboDK on kasvanut kovaa tahtia sen perustamisen jälkeen ja tekee yhteistyötä startup-yrityksistä maailman suurimpien yhtiöiden kanssa. RD:llä voidaan simuloida mitä vain teollisuuden robottia sekä tuottaa robottiohjelmistoja millä vain robottiohjaimella. RoboDK on kustannustehokas simulaattori teollisuusroboteille ja robottiohjelmoinnille. (RoboDK 2020.)

3 FANUC-ROBOTIN ETÄOHJELMOINTI SeAMKIN KONELABORATORIOSSA

Delfoi ARC -ohjelmistoon päätettiin tehdä Fanuc-solulle etäohjelmoinnin toteutus. Etäohjelmointi edellytti työkalun ja kääntöpöydän kalibrointia ja mallinnusta vastinpiikeillä. Käytännön toteutus oli näiden tulosten hyödyntämistä komponenttien asettelussa sovelluksessa. Lopuksi suoritettiin etäohjelmoinnin toimivuuden testaamista halutun lopputuloksen varmistamiseksi.

3.1 Solun kalibrointi ja mallinnus

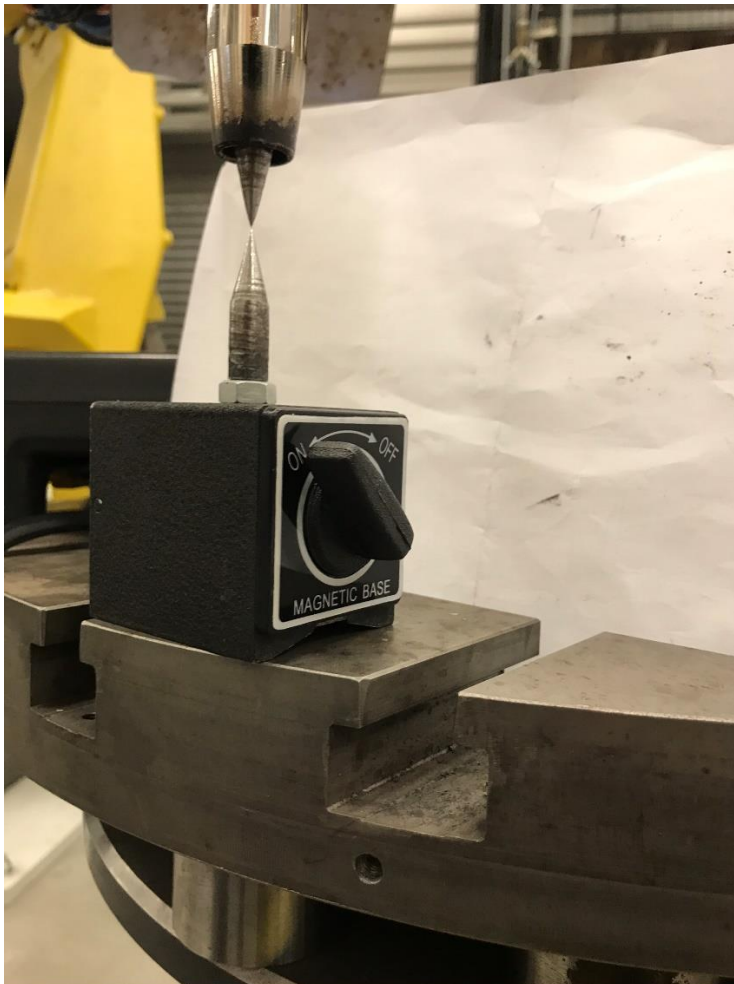
Solun kalibrointi ja mallinnus aloitettiin hakemalla Visual Componentsista mallinnettava Fanuc-robotti R-2000iB/165F ja siirrettiin se koordinaatiston nollaan. Koordinaatiston nollalla tarkoitetaan virtuaalimaailman nollapistettä. Tämän jälkeen verrattiin robotin mallin ja fyysisen mallin nivelsuunnat, että ne ovat saman suuntaiset. Nivelsuunnat tarkastamalla voidaan varmistua siitä, että mallin robotin ja todellisen robotin kinematiikka vastaavat täysin toisiaan. Robotin jog-valikosta asetettiin käytettäväksi Base-koordinaatistoksi Uframe0, ja robotille tehtiin työkalu ja se nimettiin Delfoi_Tool:ksi. Kuva 8 havainnollistaa jog-valikon asetuksia. Jog-valikolla voidaan asettaa robotille erilaisia käytettäviä koordinaatistoja, työkaluja ja lähestymissuuntia akseleille.



Kuva 8. Robotin koordinaatio- ja työkalutietoja.

3.1.1 TCP-kalibrointi

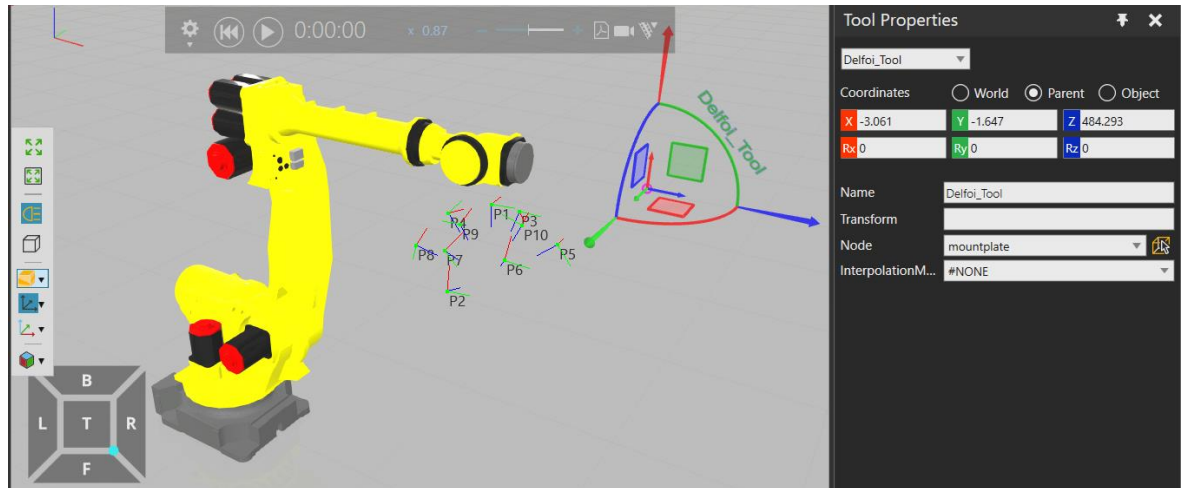
Työkalupiste eli TCP kalibroidaan tallentamalla pisteitä vastinpiikeillä. Vastinpiikit asetetaan kuvan 9 näyttämällä tavalla. Toinen vastinpiikeistä asetetaan käsittelypöydälle ja toinen hitsauspolttimen lankasuuttimeen. Piikin pituus vastaa käytettävää vapaanlangan pituutta. Tämä kalibrointi voitaisiin tehdä myös kahdella erimittaisella piikillä eli toistaa kalibrointi molemmilla pituuksilla, jolloin saataisiin absoluuttinen Z-akselin suunta ja tarkempi lopputulos kalibroinnille. Kalibrointi tehtiin kuitenkin vain yhdenmittaisella piikillä ja koordinaatiston suunta otettiin robotin ohjaimelta. Tällä menetelmällä mitattiin kymmenen pistettä eri suunnilta ja ne tallennettiin robotille tehtyyn ohjelmaan.



Kuva 9. MB-piikki käsittelypöydässä sekä hitsauspolttimen vastinpiikki.

Pisteiden mittaamisen jälkeen ohjelma ylösladattiin. Eli offline ohjelmoinnissa puhutaan tyypillisesti ylös- ja alaslataamisesta (upload/unload). Ylöslataus robotin ohjaimesta tietokoneelle ja vastaavasti alaslataus mallista robotinohjaimelle. Tiedon

siirtämiseen laitteiston ja ohjelmiston välillä käytettiin tässä tapauksessa USB-tik-kua. Ohjelmien siirto on myös mahdollista FTP-palvelun kautta. Seuraavassa kuvassa 10 näkyvät robotille ladatut pisteet ja siirtynyt Tool-koordinaatisto. Tool-koordinaatistolla tarkoitetaan työkalun koordinaatistoa, jonka mukaan työkalua ohjataan.



Kuva 10. Ohjelmistoon ladatut pisteet ja uusi Tool-koordinaatisto.

Mittauksilla saadut pisteiden arvot siirrettiin uudelle työkalulle robotilla ja polttimeen suunnat otettiin kyseisen robotin työkalun numero 7:n tiedoista robotilta. Työkalu 7 vastaa samaa mallinnettavaa Binzelin hitsauspoltinta robotilla, jolla polttimeen Z-suunta on valmiina robotin rekisterissä. Tällä tiedon kopioinnilla voitiin määrittää hitsauspolttimeen suunta kalibroitavaan ohjelmaan. Tämän jälkeen uusien arvojen toimivuutta robotilla testattiin pyörittelemällä työkalua kalibrointipiikillä. Testaus osoitti Z- ja Y-suuntien olevan väärinpäin ja havaitut virheet korjattiin. Kalibroinnin tulos on hyvä tarkistaa, että keskiarvovirhe on mahdollisimman pieni. Kuvassa 11 näkyvät saadut kalibrointipisteiden arvot ja onnistunut kalibrointi. Alle puolen millimetrin keskiarvoista tulosta voidaan pitää hyvänä.

```

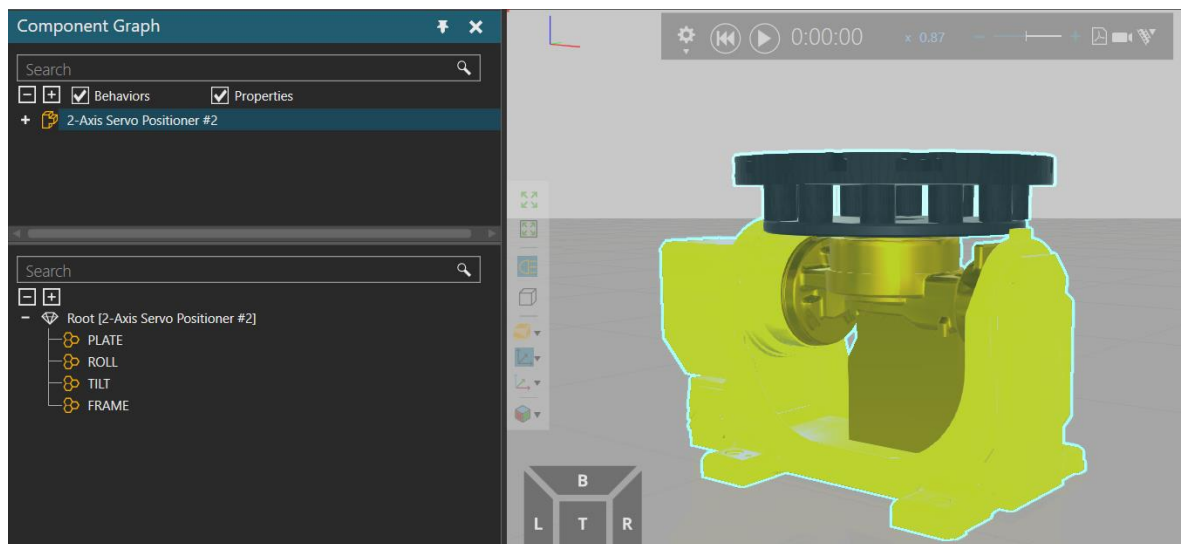
Upload Done!
Calibrating tool position to Delfoi_Tool
TCP RMS: 0.473561364368
TCP location in mountplate:
X: -3.06064111814, Y: -1.64663361595, Z: 484.293020903
Pin/tool in world:
X: 1143.97040824, Y: 1023.08638849, Z: 804.675327067
Calibration done
  
```

Kuva 11. Työkalun kalibroidut pisteet.

Korjausten ja uudelleen testauksen jälkeen mallinnettu työkalun geometriadata asetettiin ohjelmaan. Valmis CAD-geometria työkalusta saatiin suoraan valmistajalta Binzeliltä, joten sen mallinnusta CAD-ohjelmistolla ei tarvittu. Kappaleen origo siirrettiin hitsauspolttimen langan päähän geometriassa. Työkalulle tehtiin tämän jälkeen uusi koordinaatisto, joka yhdistettiin robotin laippaan. Lopuksi hitsauslangan päässä oleva origo yhdistettiin kalibroituun työkalupisteeseen. Lopputulos on nähtävissä kuvassa 14.

3.1.2 Kääntöpöydän kalibrointi

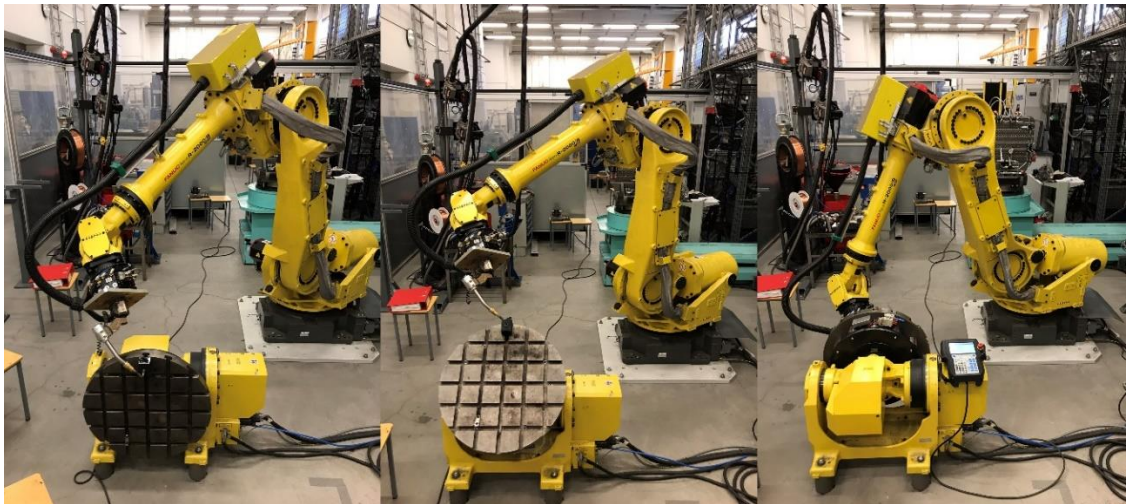
Työkalun kalibroinnin jälkeen lisättiin kääntöpöydän CAD-geometria mallinnettavaan ohjelmaan. Geometria jaettiin osiin eli geometriasta mallinnettiin osarakenne, jotta laitteen kokoonpano saatiin itsenäisiksi kappaleiksi. Kokoonpanosta otettiin käyttöön tarvittavat geometriat mallinnusta varten kuvan 12 esittämällä tavalla. Tämän jälkeen tehtiin pöydän kinematiikka, eli käytännössä määriteltiin sen akselit ja liikesuunnat.



Kuva 12. Pöydän Step-malli muokattuna osiin.

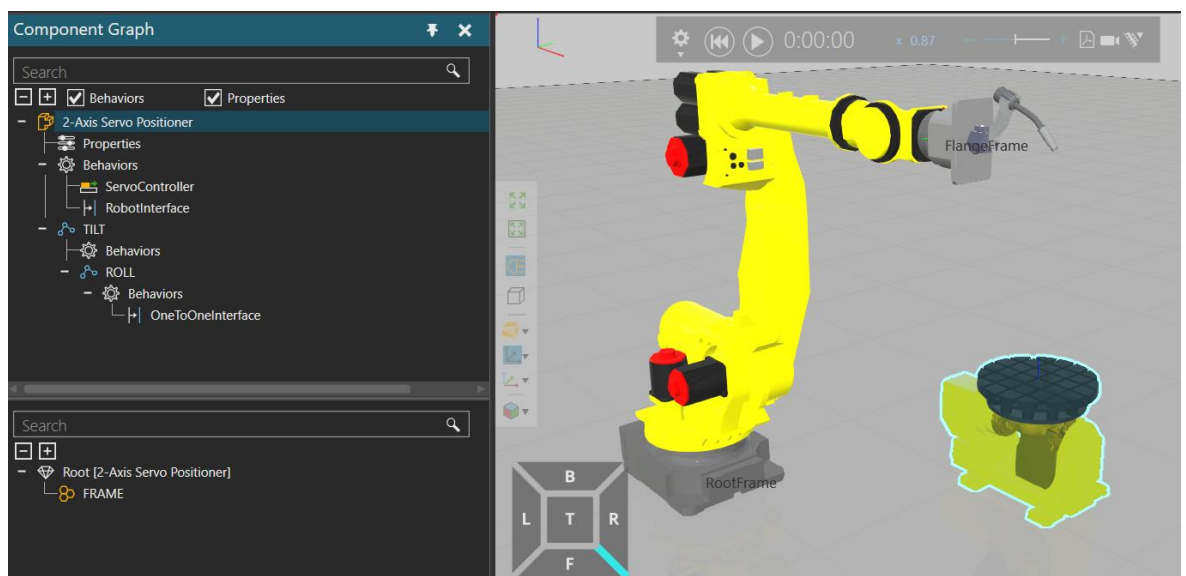
Kääntöpöydän kalibrointi aloitettiin tekemällä uusi ohjelma robotille. Pisteiden mittausta tehdään samalla työkalulla, mikä kalibroitiin aiemmin. Kääntöpöytää kalibroitaessa mittaukset tehdään molemmille akseleille, mutta erikseen ja omilla ohjelmillaan. Ensin tehtiin ohjelma pöydän kallistukselle, joka nimettiin TILT-muotoon. Magnetic Base (MB) asetettiin pöydän reunalle ja pöytä ajettiin toiseen ääriasentoon.

Mittaukset otettiin samalla tavalla asettamalla piikit vastakkain ja tallentamalla 8–10 pistettä koko kierrokselta seuraavan kuvan (Kuva 13) esittämällä tavalla.



Kuva 13. TILT-mittauksen ääriasennot ja mittauspisteet sekä MB pöydän ulkokehällä.

Robotille tehtiin myös toinen ohjelma nimeltään ROLL, millä määriteltiin pöytää pyörittävän akselin kalibrointi. Mittaukset tehtiin samalla menetelmällä kuin TCP- ja TILT-kalibrointi eli vastinpiikkien avulla. MB asetettiin pöydän ulkokehälle (Kuva 13) ja pisteitä tallennettiin 8–10 kappaletta pyörittämällä pöytää koko kierroksen verran ja tallentamalla pisteitä tehtyyn robotin ohjelmaan.

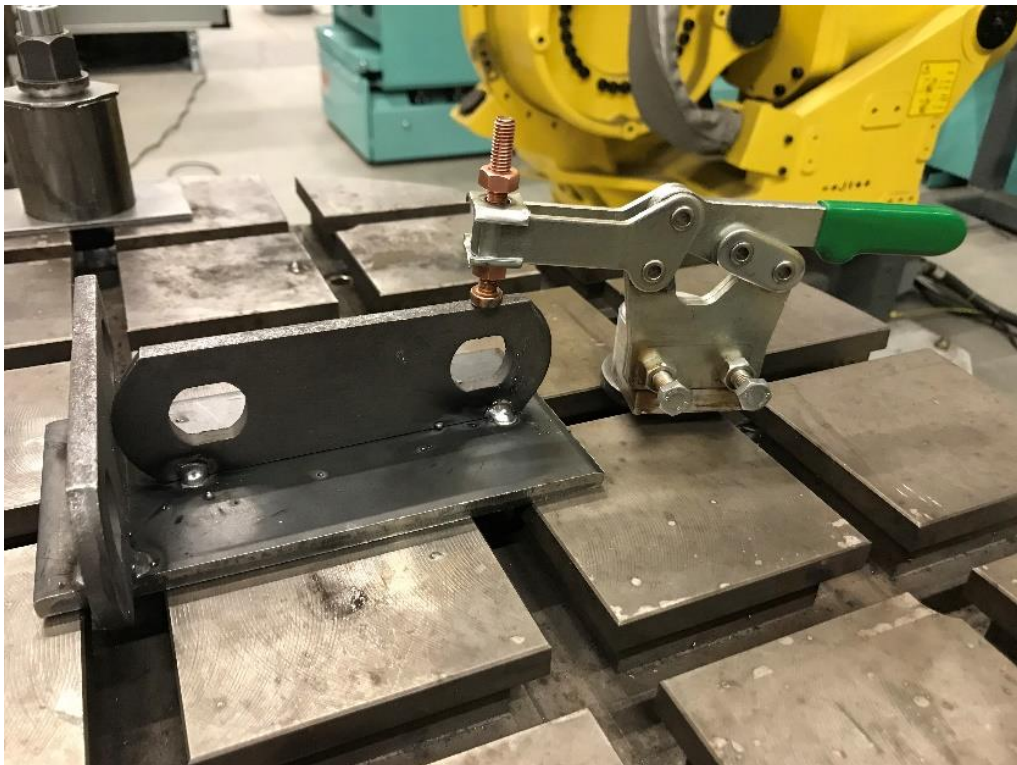


Kuva 14. Valmis solu.

Kun molemmat mittaukset oli saatu valmiiksi, ohjelmat ladattiin Delfoi ARC -ohjelmistoon. Latauksen jälkeen uudet robotilla tallennetut pisteet ilmaantuivat koordinaatistoina simulointimalliin, joiden avulla pystyttiin kalibroimaan kääntöpöydän akselien paikat. Geometria ja sen akselien linkit liitettiin arvoilla saatuihin paikkoihin, jolloin geometria saatiin kohdilleen. Nyt solu on mallinnettu ja kalibroitu sekä valmis testattavaksi kuvan 14 esittämällä tavalla.

3.2 Etäohjelmoinnin käyttöönotto

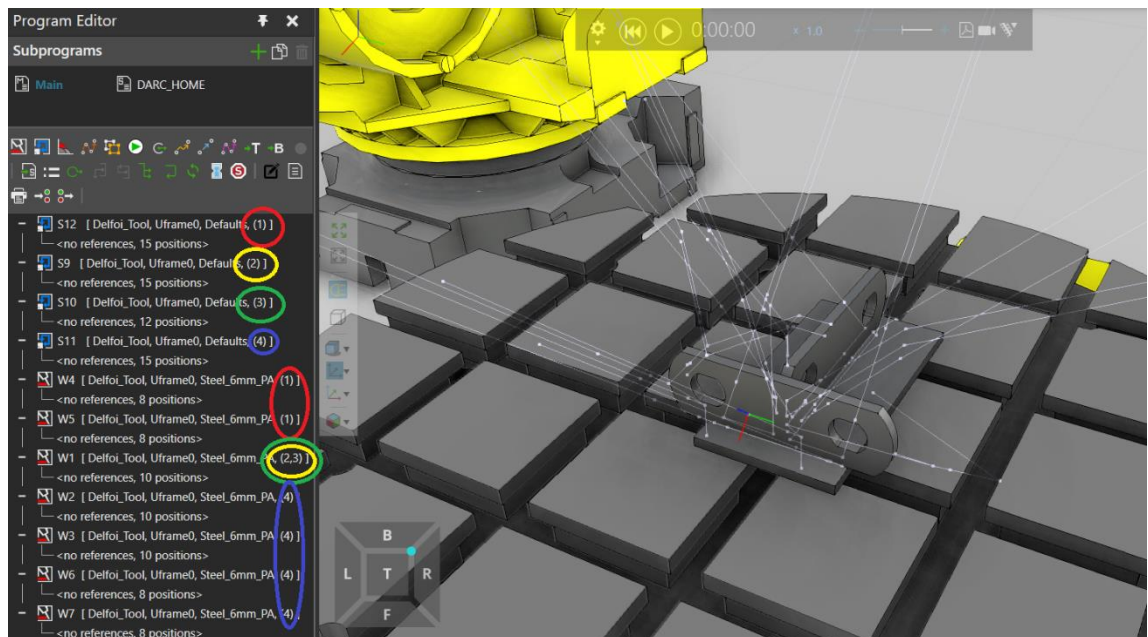
Kalibroinnin ja mallinnuksen jälkeen aloitettiin hitsien ja railonhaun ohjelmoinnin testaaminen Delfoi ARC -ohjelmistolla. Ennen ohjelmointia määriteltiin työstettävän kappaleen geometria ja päädyttiin kappaleeseen (Kuva 15), minkä avulla pystyttiin kokeilemaan railonhakua ahtaistakin paikoista.



Kuva 15. Työstettävä testikappale.

Ensin ohjelmaan lisättiin hitsauksen hitsausradat ilman hitsausarvojen ja polttimeen kulmien säätelyä. Ajoratojen määrittelyn jälkeen tehtiin railonhaut hitseille, jotta hitsaus pysyisi railossa. Railonhakua käytettiin, jotta hitsattavan kappaleen kalibroinnissa ja asettelussa kääntöpöytään esiintyviltä virheiltä välttyttäisiin. Railonhaualla

pystytään korjaamaan hitsausradat oikeisiin kohtiin, koska simulointimalli ja todellinen solu eivät koskaan vastaa täysin toisiaan. Virheitä syntyy työkappaleen asemoinnissa ja ylipäättään koko solun rakentamisessa ja kalibroinnissa. Samalla testattiin railonhaun toiminta etäohjelmoinnin avulla. Koska pistoolista tuleva hitsauslanka näytti kuitenkin olevan hieman kierossa ulos tullessa, heräsi epäily, että se aiheuttaisi virheitä railonhakuun. Lankaa suoristettiin silmämääräisesti ja testauksen jälkeen todettiin, ettei se aiheuta virhettä. Kuvassa 16 esitetään tehdyt hitsaukset ja niissä käytettävät railonhaut. Lopuksi hitsausarvoja ja polttimeen kulmia säädeltiin, koska ohjelma haluttiin saada robotille turvalliseksi ja virheettömäksi. Hitsauksen testaus onnistui lopulta erinomaisesti ja kaikki ohjelmoidut tehtävät saatiin suoritettua onnistuneesti. Seuraavalla sivulla kuvassa 17 esitetty lopullinen työstetty kappale.



Kuva 16. Suunnitellut hitsaukset ja railonhaut.



Kuva 17. Valmis työstetty kappale.

3.3 Etäohjelmoinnin hyödyt

Etäohjelmoinnin tuloksena saavutettiin merkittäviä hyötyjä niin SeAMKin opiskelijoille kuin yritysyhteistyölle. SeAMKin konelaboratorioon valmistettiin uudenlainen oppimisympäristö, jossa opiskelijat voivat soveltaa teoriassa oppimaansa käytäntöön. Uusi oppimisympäristö soveltuu entistä paremmin erilaisten yritysten kanssa toteutettavien projektien toteuttamiseen, projektipajojen oppimisympäristöksi sekä mahdollistaa uusia yritysyhteistyömahdollisuuksia. Kalibroitu ja mallinnettu solu soveltuu nyt myös entistä paremmin osaksi FMS-järjestelmän käyttöä. Etäohjelmointi mahdollistaa nopeamman ja tarkemman ohjelman tekemisen robotille, minkä ansiosta esimerkiksi moni opiskelija pystyy ohjelmoimaan robottia samaan aikaan. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että robotin ohjelmoija ei ole sidoksissa robotin fyysiseen sijaintiin. Tämä parantaa muun muassa niiden yritysten, jotka sijaitsevat kaukana kasvukeskuksista ja houkuttelevista asuinalueista, mahdollisuutta saada osaavaa työvoimaa.

4 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada Seinäjoen ammattikorkeakoulun konelaboratorion hitsausrobottisolu etäohjelmoitavaksi ja siten saada olemassa olevat resurssit tehokkaampaan käyttöön. Opinnäytetyössä käsitelty Fanuc-robotti on osa konelaboratoriossa sijaitsevaa Fastems-solua. Työ toteutettiin siten, että ohjelmoitavaan Visual Components -soluun tuli yksi robotti ja pyörityspöytä. Etäohjelmointi edellytti robottisolun mallintamista ja kalibroimista Visual Components -ohjelmistoon, jolloin simulointimallista saatiin etäohjelmoinnin käyttöönotto Delfoi ARC -ohjelmistoon. Kalibroinnin ja etäohjelmoinnin kohteena oli SeAMKin konelaboratorion 6-akselinen nivelvarsirobotti, joka on Kuivasen (1999, 13) mukaan konepajoissa ja autoteollisuudessa yleisimmin käytetty robottityyppi.

Teollisuusrobotti on mekaaninen kone, joka siirtää työkalun kiinnityslaippansa halutulla tavalla paikasta toiseen (Kuivanen 1999, 13). Hän korostaa, että robotin uudelleenohjelmoitavuus ei pelkästään riitä, vaan sille pitää olla mahdollista muodostaa vaaditut liikeradat ja niitä pitää voida päivittää prosessia tarkkailevien tunnistimien ja antureiden avulla. Hän jatkaa, että nivelvarsirobotti on yleisin teollisuusrobottityyppi, joka koostuu tukivarsista, joiden keskinäisiä asentoja voidaan muuttaa nivelten avulla. Nivelä ohjaavia toimilaitteita ovat esimerkiksi moottori ja sylinterit. Komponentteja ovat lisäksi manipulaattori, kontrolleri ja virtalähde. Nivelvarsirobotin kantokyky on Kuivasen mukaan varsin pieni, mutta sen ulottuvuus vastaavasti kuitenkin suuri.

Hitsauksella tarkoitetaan eri kappaleiden liittämistä toisiinsa siten, että lämpö ja/tai puristus sulattaa metallia, jolloin osat muodostavat yhtenäisen kappaleen (Lepola & Makkonen 2005). Jääskeläisen (2011) mukaan automaation käytön lisääminen on tuottavuuden ja työvoimapulan kanssa kamppailevan hitsausalan yksi merkittävimmistä kehityksen painopistealueista, ja robotin hankkiminen kuljettamaan hitsauspistoolia on alan yleisin automatisointikeino. Robotin hoitaessa fyysisesti kuormittavan hitsaustyön, ihminen vapautuu sen ohjelmointiin.

Hiltunen ja Purhonen (2008, 34) vertaavat robottihitsausta käsin hitsaukseen ja toteavat kappaleiden mitta- ja muotovaatimusten olevan huomattavasti suuremmat

robottihitsauksessa. Hitsausrobotiikan käyttöönotto edellyttääkin siten robottihitsausvaatimusten huomioimisen jo kappaleiden suunnitteluvaiheessa hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi. He jatkavat, että erinomaiseen robotisoituun hitsaukseen vaikuttavat hitsin luoksepäästävyys, hitsauspisteeseen soveltuvat liitos- ja railonmuodot sekä hitsausmenetelmät. Lepola ja Makkonen (2005) puolestaan toteavat, että robottihitsauksessa on tärkeää kappaleen asemoituminen samaan paikkaan ja orientaatioon jokaisella hitsauskerralla. Lisäksi myös kappaleen irrotus hitsauskiinnitimestä on oltava turvallinen ja hallittu.

Railonhakutoiminnon avulla hitsattavan kappaleen virheellistä muotoa tai asemaa voidaan korjata hitsauspisteiden uudelleen paikoituksella. Railonhaussa hitsauslangalla tai kaasusuuttimella kosketetaan kappaleen hitsattavia pintoja ja robotti oppii näin koskettamalla hakupisteet radan aloitukselle. Mikäli railonhakumenetelmällä saadut arvot vaihtelevat opetetusta sijainnista, robotti siirtää liikeratojaan muuttuneen sijainnin mukaisesti. Railonseuranta puolestaan korjaa robotin hitsausrataa hitsauksen aikana, jos kappale tai sen paikoitus eroaa ohjelmoidusta kappaleesta. (Bolmsjö, Loureiro & Pires 2006, 108–109.)

Robottien ohjelmointi on käytännössä niiden nivelien paikka-antureiden tietojen tallentamista ja näiden tallennettujen tietojen toistamista uudelleen. Ohjelmoinnin tärkeimmät tehtävät ovat toimintajärjestyksen laatiminen ja ohjelmointi käsivarren liikkeille sekä liikkeiden tahdistaminen ympäristöön ja muihin laitteisiin. (Kuivanen 1999, 78). Robottien ohjelmointitavat voidaan jakaa online- ja offline-ohjelmointiin ja menetelmät edelleen eri tekniikoihin, joita ovat johdattamalla ja opettamalla ohjelmointi sekä etäohjelmointi.

Etäohjelmointi on robotin ohjelman suunnittelua ja tekoa erillisellä tietokoneohjelmistolla ilman itse robottia (Graig 1989, 414). Etäohjelmointi perustuu paikoituspisteiden opettamiseen, kuten online-ohjelmointikin. Hän jatkaa vielä, ettei tuotantoa tarvitse pysäyttää ohjelmoinnin ajaksi ja CAD-mallien käyttö ohjelmoinnissa säästää aikaa. VR-ohjelmointi on Robotic Industry Newsin [Viitattu 30.5.2020] mukaan nopeasti kehittyvä teknologia-ala. Tämä systeemi helpottaa huomattavasti robottien ohjelmointia mahdollistamalla käyttäjän liittymisen virtuaalitodellisuuteen ja 3D-mal-

lien tarkastelemisen joka suunnalta. Virtuaalitodellisuuden hyötyjä ovat suuret ajan- säästöt tuotannon ohjelmoinnissa, tuottavuuden, turvallisuuden ja tehokkuuden lisääminen sekä yleinen prosessin tehostaminen.

SeAMKin konelaboratorion robottisolun etäohjelmoinnin toteuttaminen aloitettiin solun kalibroinnilla ja mallinnuksella. Työkalun kalibrointi tehtiin tallentamalla pisteitä vastinpiikeillä. Eri suunnilta mitatut kymmenen pistettä tallennettiin robotille tehtyyn ohjelmaan. Ohjelma ladattiin tietokoneohjelmistoon ja mittauksilla saadut pisteiden arvot siirrettiin uudelle työkalulle robotilla. Tämän jälkeen polttimen suunnat otettiin työkalun 7 tiedoista robotilta. Arvojen toimivuutta testattiin ja korjausten sekä uusinta testauksen jälkeen mallinnettu työkalun geometria tuotiin ohjelmaan. CAD-geometria oli saatu suoraan valmistajalta, joten mallinnusta ei tarvittu. Lopuksi hitsauspolttimen geometria yhdistettiin kalibroituun pisteeseen.

Työkalun kalibroinnin jälkeen lisättiin kääntöpöydän CAD-geometria mallinnettavaan ohjelmaan. Geometriasta tehtiin räjäytyskuva, jotta laitteen kokoonpano saatiin itsenäisiksi kappaleiksi ja kokoonpanosta otettiin käyttöön tarvittavat geometriat mallinnuksen tekemistä varten. Niillä tehtiin pöydän kinematiikka.

Kääntöpöydän kalibrointi aloitettiin tekemällä uusi ohjelma robotille. Pisteiden mitaus suoritettiin aiemmin kalibroidulla työkalulla molemmille akseleille erikseen ja omilla ohjelmilla vastinpiikkien avulla. Robotille tehtiin siten kaksi eri ohjelmaa TILT, pöydän kallistukselle ja ROLL, jolla määriteltiin pöytää pyörittävän akselin kalibrointi. Mittausten jälkeen ohjelmat ladattiin Delfoi ARC -ohjelmistoon. Latauksen jälkeen uusien mittauservojen avulla oli mahdollista määritellä kääntöpöydän akseleiden paikat. Geometria ja sen akseleiden linkit liitettiin arvoilla saatuihin paikkoihin ja geometria koottiin tämän jälkeen kohdilleen. Tässä vaiheessa solu oli mallinnettu sekä kalibroitu ja valmis testattavaksi.

Kalibroinnin ja mallinnuksen jälkeen hitsien ja railonhaun ohjelmointi testattiin Delfoi ARC -ohjelmistolla. Testaaminen suoritettiin kappaleella, minkä avulla pystyttiin ko- keilemaan railonhakua ahtaistakin paikoista. Ohjelmaan lisättiin hitsauksen ajoradat ja niiden määrittelyn jälkeen tehtiin railonhaut saumoille sen varmistamiseksi, että hitsaus pysyisi railossa. Railonhakua oli tarpeellista, että työstettävän kappaleen kalibroinnissa ja asettelussa esiintyviltä virheiltä välttyttäisiin. Samalla voitiin testata

railonhaun toiminta etäohjelmoinnin avulla. Silmämääräisen tarkastelun tuloksena hitsauslankaa suoritettiin ja testauksen jälkeen todettiin, että ohjelma toimi kuten sen oli tarkoituskin ja merkittäviä virheitä ei ilmennyt. Hitsausarvoja ja polttimeen kulmia säädeltiin, kuitenkin hieman, koska ohjelma haluttiin saada robotille turvallisesti ja virheettömäksi. Hitsauksen testaus onnistui lopulta erinomaisesti ja kaikki ohjelmoidut tehtävät saatiin suoritettua onnistuneesti.

Tavoitteena oli tehdä etäohjelmoinnin kalibrointi robottihitsaussolulle ja voidaan todeta, että tavoite saavutettiin. Työn aikana opin paljon Visual Components -ohjelmistosta ja Delfoi ARC:in käytöstä. Työn tekeminen oli opettavaista ja välillä piti mennä virheen kautta oppiakseen ohjelmoinnista tai sovelluksesta. Mallinnuksen ja kalibroinnin seurauksena robotille voidaan nyt tehdä uusia ohjelmia ilman pakollista läsnäoloa robotilla. Se nopeuttaa opiskelijoiden itsenäistä opiskelua robotin ohjelmoinnin parissa ja lisää varmasti mielenkiintoa sekä innostusta robotiikkaa ja sen ohjelmointia kohtaan. SeAMKin konelaboratoriossa on tämän opinnäytetyön ansiosta mahdollista käyttää Fanucin hitsausrobottisolua samalla tavalla kuin Yaskawan solua ja vieläpä yhtä aikaa.

Mallinnettu solu soveltuu nyt myös entistä paremmin etäohjelmoinnin toimintaan osaksi FMS-järjestelmää, minkä jatkokehitys olisi hyvä projekti tuleville opiskelijoille. Laajentamalla Visual Components mallia, FMS-järjestelmällä mahdollistuisi ehkä uusia ja entistä laajempia projekteja ja yhteistyömahdollisuuksia paikallisten yritysten kanssa. Toisen robotin mallintaminen mukaan samaan ohjelmaan toisi myös mukanaan laajemmat mahdollisuudet kappaleiden käsittelyille ja robottien ohjelmoinnille.

Delfoi ARC:lla hitsausprosessien ohjelmointi nopeuttaa ohjelmien tekoa huomattavalla tasolla. Hitsausparametrit voidaan tehdä ja määrittää valikoihin valmiiksi ja tallentaa ne kirjastoon, jolloin hitsauksessa tarvittavia parametrejä ei tarvitse määrittää erikseen jokaisen ohjelmoinnin yhteydessä. Hitsauspolttimeen hitsauskulmat ja ajoradat voidaan määritellä helposti myös jokaiselle pisteelle tarkasti, jotta törmäyksiä ei tapahdu. Huomioitavia asioita ohjelmaa robotille ladattaessa on koodin oikeinkirjoitus. Huomattiin, että yksinkin väärä merkki, puolipiste tai kirjoitusvirhe koodissa ei lataa ohjelmaa robotille.

Haluan lopuksi kiittää työn toimeksiantajaa Seinäjoen ammattikorkeakoulua, jonka puolelta minulla oli erinomainen ja ammattitaitoinen ohjaaja ja yhteistyökumppani lehtori Jarkko Pakkanen. Haluan erityisesti Jarkkoa kiittää häntä opinnäytetyön mahdollistamisesta viime hetkellä. Lisäksi haluan kiittää ohjaajiani työn opastamisesta erinomaiseen lopputulokseen, nopealla ja joustavalla aikataululla poikkeuksellisesta keväästä 2020 huolimatta. Myös Lehtori Kimmo Kitinoja kiittää opinnäytetyöstä ja toteaa, että tämä opinnäytetyö oli todella hyvä esimerkki ja malli Seinäjoen ammattikorkeakoulun automaatiotekniikan ja kone- ja tuotantotekniikan välisestä aktiivisesta ja antoisasta yhteistyöstä.

LÄHTEET

- AGA. Ei päiväystä. Suojakaasukäsikirja. [PDF-tiedosto]. Oy AGA Ab. [Viitattu 8.6.2020]. Saatavana: https://www.linde-gas.fi/fi/imagas/AGA%20Shielding%20Gases%20Handbook%20FI_tcm634-122349.pdf
- Delfoi ARC. 2020. Delfoi ARC [Verkkosivu] Delfoi Oy [Viitattu 31.05.2020] Saatavana: <https://www.delfoi.com/solutions/robotics/delfoi-arc/>
- Delfoi. Ei päiväystä. Delfoi Robotics offline programming. [Verkkosivu]. Delfoi Ltd. [Viitattu 28.5.2020]. Saatavana: www.delfoi.com/fi/ratkaisut/robotiikka/
- Fanuc. 2005. Through Arc Seam Tracking (TAST). [PDF]. Fanuc Robotics America, Inc. [Viitattu 8.6.2020] Saatavana: <https://arcsroboticservices.com/wp-content/uploads/2015/06/FANUC-Through-Arc-Seam-Tracking-TAST.pdf>
- Fronius. 2020. Perfect welding from then and now. [Verkkosivu] Fronius. [Viitattu 31.5.2020] Saatavana: <https://www.fronius.com/en/welding-technology/inside-fronius/perfect-welding>
- Hiltunen, E. & Purhonen, T. 2008. [Verkkolehtiartikkeli]. Robottihitsauksen laatu – monen tekijän summa. Hitsaustekniikka (4). Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y. [Viitattu 31.5.2020]. Saatavana: http://www.shy-hitsaus.net/portals/shy/iBooklet/2008/HT_4_08/files/mobile/index.html#35
- Jääskeläinen, E. 2011. [Verkkolehtiartikkeli]. Hitsaustekniikka (3). Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y. [Viitattu 31.5.2020]. Saatavana: http://www.shy-hitsaus.net/portals/shy/iBooklet/2011/ht_3_11/files/assets/basic-html/index.html#3
- Kaarela, J. 2007. Robotin etäohjelmoinnin käyttöönoton vaiheet robotisoidussa ohutlevyn särmäyksessä. [Verkkojulkaisu]. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Teknologiaosaamisen johtamisen -koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [Viitattu 31.5.2020]. Saatavana: <https://docplayer.fi/1629126-Jari-kaarela-robotin-etaohjelmoinnin-kayttoonoton-vaiheet-robotisoidussa-ohutlevyn-sarmayksessa.html>
- Kitinoja, K. 2020. Lehtori. Seinäjoen Ammattikorkeakoulu. Haastattelu 5.6.2020.
- Kuivanen, R. 1999. Robotiikka. Vantaa: Talentum Oyj/MetalliTekniikka.
- Lepola, P. & Makkonen, M. 2005. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. Helsinki: WSOY.

Lincoln Electric. 2020. Fixturing for Robot Welding. [Verkkosivu]. The Lincoln Electric Company. [Viitattu 5.6.2020]. Saatavana: <https://www.lincolnelectric.com/en-us/support/process-and-theory/Pages/fixturing-robotics-detail.aspx>

MotoSim. 2020. MotoSim Robot Programming Simulator [Verkkosivu] Yaskawa Electric Corporation [Viitattu 31.5.2020] Saatavana: <https://www.motoman.com/en-us/products/software/simulation>

Niemi, A. 2020. Tuotannon kehitysinsinööri. AGCO Power Oy. Haastattelu 15.6.2020.

RoboDK. 2020. RoboDK [Verkkosivu] RoboDK [Viitattu 31.5.2020] Saatavana: <https://robodk.com/about>

RobotWorks. Ei päiväystä. ABB Offers VR Integration for Robot Programming. [Verkkosivu]. RobotWorks. [Viitattu 30.5.2020]. Saatavana: <https://www.robotworks.com/blogs/abb-offers-vr-integration-for-robot-programming>

SeAMK a. Ei päiväystä. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. [Verkkosivu]. [Viitattu 5.5.2020]. Saatavana: <https://www.seamk.fi/>

SeAMK b. Ei päiväystä. Strategia ja laatu. [Verkkosivu]. [Viitattu 6.5.2020]. Saatavana: <https://www.seamk.fi/seamk-info/organisaatio/strategia-ja-laatu/>

Vipunen. 2019. Ammattikorkeakoulujen valmistumisvaiheen opiskelijapalaute (AVOP), AMK-tutkinto. [Verkkosivu]. [Viitattu 5.5.2020]. Saatavana: <https://vipunen.fi/fi-fi/layouts/15/xlviewer.aspx?id=/fi-fi/Raportit/Ammattikorkeakoulutus%20-%20opiskelijapalaute%20-%20AMK%20-%20ammattikorkeakoulu.xlsb>

Visual Components. 2020. About Us. [Verkkosivu] Visual Components [Viitattu 31.5.2020] Saatavana: <https://www.visualcomponents.com/about-us/>